

MISE EN PLACE D'UN LABORATOIRE NATUREL SUR LE MONT COVEY HILL (QUÉBEC, CANADA)

M. Larocque, ^{1*}, G. Leroux, ², C. Madramootoo ², F.J. LAPOINTE³, S. Pellerin⁴ et J. Bonin⁵, ¹ Centre de recherche pour l'Étude et la Simulation du Climat à l'Échelle Régionale, Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, Université du Québec à Montréal, CP 8888, succ. Centre-Ville, Montréal (Québec) Canada H3C 3P8, Courriel : larocque.marie@uqam.ca, ² Centre Brace pour la gestion des ressources hydriques, Département de Génie des Bioressources, Université McGill, campus MacDonald, 2111 Lakeshore, Sainte-Anne-de-Bellevue (Québec) Canada H9X 3V9, courriels : genevieve.leroux@mcgill.ca, chandra.madramootoo@mcgill.ca, ³ Département de sciences biologiques, Université de Montréal, C.P. 6128, succ. Centre-ville, Montréal (Québec) Canada H3C 3J7, courriel : francois-joseph.lapointe@umontreal.ca, ⁴Institut de recherche en biologie végétale, Jardin Botanique de Montréal, 4101 Sherbrooke est, Montréal (Québec) Canada H1X 2B2, , courriel : stephanie.pellerin.1@umontreal.ca, ⁵ Conservation de la nature Canada, 500 Place d'Armes, bureau 1400, Montréal (Québec) Canada H2Y 2W2, courriel : Joel.Bonin@conservationdelanature.ca

* Auteur à qui doit être adressée la correspondance.

Résumé : Le mont Covey Hill héberge des populations de salamandres rares et menacées dont les habitats sont maintenus en partie par l'eau souterraine. Des travaux de recherche multidisciplinaires (UQAM, U. McGill, U. Montréal, IRBV, Centre Brace, SCABRIC et ministères) ont permis de comprendre l'hydrologie ainsi que la répartition et les caractéristiques des habitats de salamandres. Ces projets ont contribué à la mise en place de stations de suivi écologique à long terme et de stations hydrométriques permanentes. En tant que propriétaire de terrains dédiés à la conservation, Conservation de la Nature assure la coordination de ces initiatives. Le mont Covey Hill est aujourd'hui un Laboratoire naturel unique au Québec, dédié à la compréhension intégrée et à long terme d'un écosystème fragile. Cet article a pour objectif de présenter le Laboratoire naturel par une description des recherches en cours et à venir.

Mots clés : Mont Covey Hill, Laboratoire naturel, populations de salamandres, conservation des habitats, aquifère, recharge, cours d'eau, tourbière.

Abstract : Covey Hill hosts rare and endangered salamander species. Habitats for these salamanders are partly maintained by groundwater. Multidisciplinary research projects (UQAM, U. McGill, U. de Montréal, IRBV, Centre Brace, SCABRIC and different ministries) have led to a better understanding of the hill's hydrological dynamics and to the characterization of salamander populations and habitats. These projects have contributed to the installation of long term observation sites as well as permanent hydrometric stations. Nature Conservancy of Canada is a land owner on the hill and coordinates the research work. Covey Hill is now a Natural Laboratory unique in Québec, dedicated to an integrated and long term understanding of a fragile ecosystem. The objective of this paper is to present the Natural Laboratory through a description of current research activities and future work.

Keywords : Covey Hill, Natural Laboratory, salamander populations, habitat conservation, aquifer, recharge, stream, peatland.

Introduction

En sciences naturelles, l'étude et la compréhension des phénomènes passent notamment par l'acquisition de données sur le terrain. La tendance actuelle en recherche est l'étude des phénomènes complexes par l'intégration des dimensions multidisciplinaires et spatio-temporelles. Le suivi continu sur un site expérimental est certainement parmi les outils les plus utiles pour étudier à long terme une problématique ayant des objectifs multiples. Les données rendues disponibles grâce à un suivi

temporel peuvent ensuite être utilisées pour une panoplie d'applications.

Les stations de mesure ou sites expérimentaux associés à des territoires protégés sont des endroits privilégiés pour ce type de mesures en raison de la stabilité à long terme offerte par un terrain situé à l'abri des pressions anthropiques. Il existe plusieurs sites de ce genre au Québec et ailleurs, chacun ayant été développé pour l'étude d'une problématique spécifique : la Station de Biologie des Laurentides (SBL, 2006) est une station expérimentale dédiée à la recherche et l'enseignement en

écologie aquatique (U. Montréal); la Forêt d'Enseignement et de Recherche du Lac Duparquet (FERLD, 2006) a pour mission de développer des modes de gestion et d'aménagement forestier qui respectent le fonctionnement du milieu et tiennent compte des attentes du milieu socio-économique (UQAM et UQAT); l'île d'Anticosti est un site expérimental ayant pour but de développer des méthodes d'aménagement écosystémique adaptées aux densités élevées de cervidés (Côté et al., 2006a); au Ecosystems Studies Field Laboratory situé à Altona Flat Rock (ESFL, 2005), on étudie l'interdépendance des processus naturels et des activités anthropiques sur les écosystèmes naturels.

La présence de salamandres rares a motivé les premiers travaux de recherche sur le mont Covey Hill. Situé à 65 km au sud-ouest de Montréal, le mont Covey Hill est une unité morphologique étendue dans la direction est-ouest, d'environ 20 km de longueur et 10 km de largeur. Ce site unique héberge la principale population de salamandres sombres des montagnes (*Desmognathus ochrophaeus*) au pays et la population de salamandres pourpres (*Gyrinophilus porphyriticus*) la plus occidentale au Canada. Ces espèces sont considérées respectivement menacée et préoccupante par le COSEPAC (2006). Les ruisseaux permanents et intermittents servant d'habitats à ces espèces (et à au moins deux autres espèces de salamandres de ruisseaux) sont alimentés par le ruissellement de surface et de sub-surface, la résurgence des eaux souterraines, ainsi que par une tourbière située au sommet de la colline.

Depuis le début des années 1990, les initiatives de recherche et de caractérisation des habitats se sont multipliées sur le mont Covey Hill (Barrington et al., 1992; Bonin, 1993; Bilodeau, 2002; Senecal, 2003; Bilodeau, 2004; Rutheford et al., 2004; Senecal, 2004; Leroux et al., 2005; Boutin, 2006). Des travaux récents ont aussi visé la connaissance de l'aquifère régional du bassin de la Châteauguay dont fait partie la colline (Nastev et al., 2004; Blanchette et al., 2005; Croteau et al., 2005; Côté et al., 2006b). Son développement limité ainsi que sa position en amont de l'écoulement en font un site de choix pour le suivi à long terme des processus hydriques, notamment dans un contexte de changements climatiques. À la faveur des travaux réalisés sur la colline et dans la région, différents instruments de mesure ont été mis en place de manière permanente, et une importante base de données concernant les espèces, les habitats et l'hydrologie de la colline est maintenant gérée par Conservation de la nature Canada (CNC). C'est donc tout naturellement que le mont Covey Hill est passé d'un site intéressant pour l'étude des salamandres à un Laboratoire naturel dédié au suivi à long terme des populations de salamandres de ruisseaux et des processus hydriques. Le Laboratoire naturel a pour objectifs de favoriser la recherche multidisciplinaire sur les composantes de l'écosystème, de mieux comprendre les pressions s'exerçant sur les habitats et de favoriser la conservation du milieu. Le présent article a pour objectif de présenter le Laboratoire naturel du mont Covey Hill. La zone d'étude et les connaissances actuelles sont

d'abord décrites. Les données disponibles sur les habitats de salamandres sont ensuite présentées, suivies des résultats d'une étude récente sur la dynamique hydrologique de la colline et finalement des recherches présentement en cours.

Les partenaires de cette recherche sont l'Université du Québec à Montréal, l'Université McGill et l'Université de Montréal, ainsi que l'Institut de recherche en biologie végétale (IRBV), le centre Brace pour les ressources en eau, le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec (MRNF), le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP), la Commission Géologique du Canada (CGC) et le Miner Institute de SUNY-Plattsburgh. La SCABRIC (Société de Conservation et d'Aménagement du Bassin de la Rivière Châteauguay) assure les liens entre les chercheurs et la population locale impliquée, soit par la réalisation d'ateliers et la diffusion d'un plan directeur de l'eau, tandis que CNC coordonne l'ensemble des actions entreprises sur le terrain et assure la protection de territoires de part et d'autre de la frontière avec la participation de Nature Conservancy – Adirondacks chapter.

Le mont Covey Hill

Le mont Covey Hill constitue l'extension la plus nordique de la chaîne de montagne des Adirondacks (340 m au-dessus du niveau moyen de la mer) et domine la partie canadienne du bassin versant de la rivière Châteauguay (Figure 1). Les faces nord et est sont abruptes (pentes jusqu'à 10 %), tandis que la face ouest présente une pente plus douce vers la municipalité de Franklin. Du côté sud, la colline rejoint les Adirondacks.

La géologie du secteur d'étude correspond aux roches du Cambrien provenant de la séquence sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent. Les deux formations retrouvées dans cette région sont celles de Covey Hill et de Cairnside, toutes deux faisant parties du Groupe de Potsdam. La formation de Covey Hill est composée de grès feldspathique dont les grains sont grossiers voire même conglomératiques, généralement de couleur rougeâtre à verdâtre et reposant en discordance sur le Précambrien (Globensky, 1986). La formation de Cairnside est un grès quartzitique avec des grains de tailles moyennes, de couleur chamois. Le secteur est affecté par un réseau de diaclases orientées généralement sud-ouest et nord-est. Des dépôts non négligeables de till remanié et de sédiments fluvio-glaciaires se trouvent à la base de la colline (Tremblay, 2006). En raison des pentes abruptes sur les versants nord et est, la couverture de sol est quasi inexistante sur la colline, et le roc est souvent rencontré entre 30 et 60 cm sous la surface. Des zones de sol plus épais se trouvent sur la face nord de la colline (loam) ainsi qu'à l'ouest de la tourbière (silt et sable sur silt argileux). Les contenus en matière organique des sols sont élevés (Bilodeau, 2004) et les conductivités hydrauliques élevées favorisent l'infiltration de l'eau jusqu'au roc.

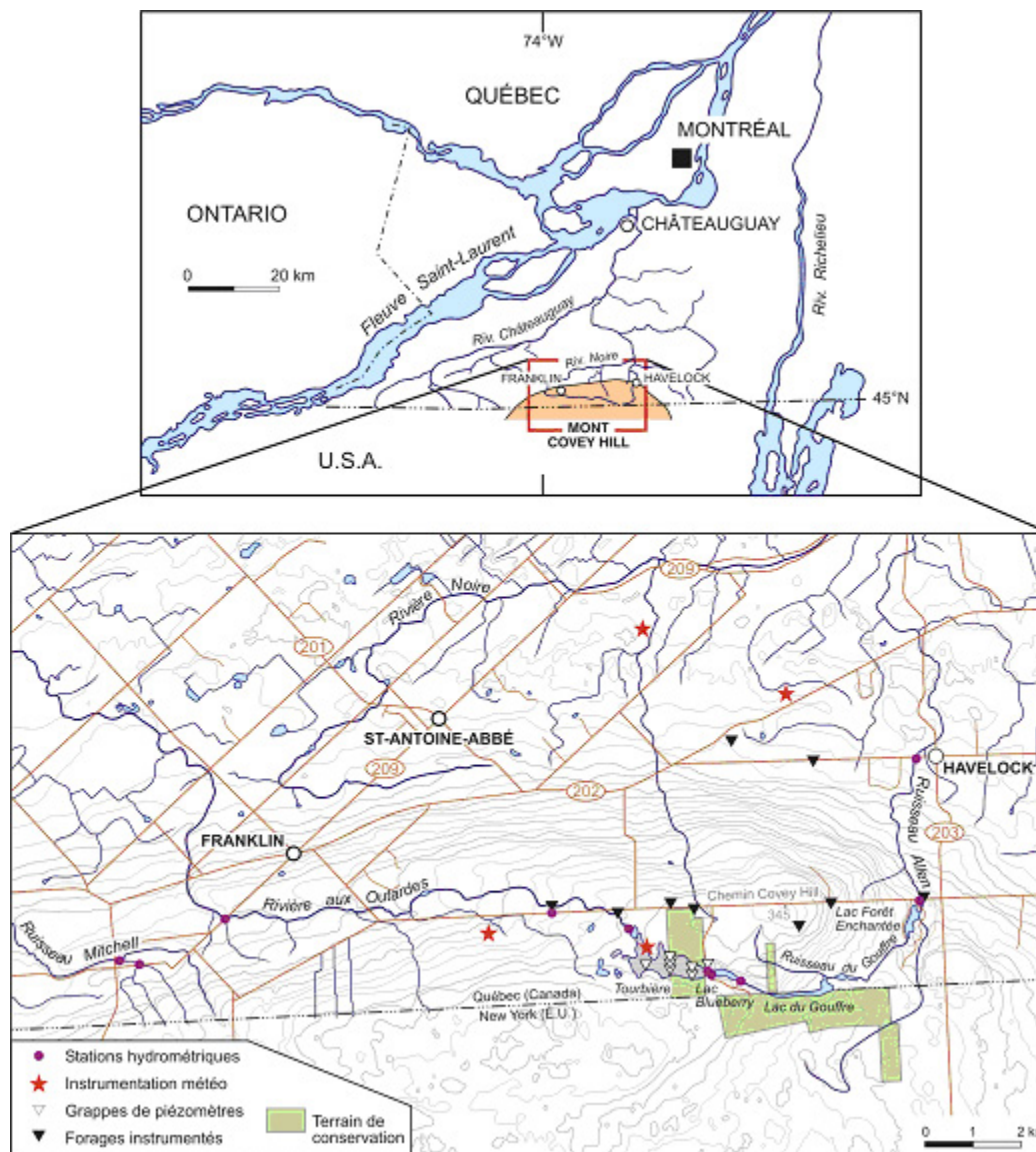


Figure 1. Localisation du Laboratoire naturel sur le mont Covey Hill

Il y a environ 12 000 ans, la marge glaciaire a dégagé le col de Covey Hill, situé entre la colline et d'autres reliefs plus élevés au sud. Les eaux du lac Iroquois (ancêtre du lac Ontario), se sont alors déversées dans le lac Vermont (aujourd'hui le lac Champlain). Cet événement s'est produit sur une période de temps relativement brève au cours de laquelle des débits très importants se seraient écoulés (Rayburn et al., 2005). Le déversement du lac Iroquois par le col de Covey aurait délavé les dépôts meubles sur une large région, laissant le roc affleurant sur de grandes surfaces connues localement sous le nom de « Flat Rocks » (Franzi et al., 2002). Ce roc affleurant et érodé est visible au sommet du mont Covey Hill et à plusieurs endroits au sud de la frontière.

Le réseau hydrographique débute à la tourbière située au sommet de la colline. Cette tourbière (70 ha) doit probablement son

existence à la présence du roc sous-jacent relativement imperméable à l'écoulement vertical. Selon une campagne de mesure réalisée à l'été 2005, l'épaisseur des dépôts tourbeux atteint 3,2 m par endroits. Située sur la ligne de partage des eaux, la tourbière se déverse à l'ouest vers la rivière aux Outardes et à l'est dans un ruisseau alimentant le lac Blueberry. L'exutoire de ce dernier est contrôlé par un barrage et coule ensuite vers le lac du Gouffre. Celui-ci est situé dans une incision de 48 m dans le roc vraisemblablement créée par le passage très rapide de l'eau lors du déversement du lac Iroquois. Une zone humide est située à la sortie du lac et alimente le ruisseau du Gouffre, lequel rejoint le lac du camping Frontière Enchantée avant de se déverser dans le ruisseau Allen (un affluent de la rivière aux Anglais qui se jette dans la rivière Châteauguay). De nombreux cours d'eau coulent sur les flancs de la colline, plusieurs intermittents. Au cours de l'été 1992, Barrington et al. (1992) ont réalisé le premier suivi

hydrologique sur le mont Covey Hill par la mesure des débits, des pH et de la température de l'eau à huit stations entre l'exutoire du lac Blueberry et le ruisseau Allen (intersection de Covey Hill). Les résultats ont montré que le temps de parcours de l'eau dans cette section suite à une précipitation est d'environ trois jours, soit près de six fois supérieur à celui attendu par ruissellement seul sur une même distance. Ce délai serait causé par le parcours d'une grande partie de l'eau à travers le roc fracturé ainsi que par l'enchaînement de zones humides et de lacs qui emmagasinent une partie des précipitations le long du réseau hydrographique.

Sur l'ensemble de la colline, l'aquifère est situé dans le roc fracturé du Potsdam. Localement, l'aquifère est discontinu et s'écoule le long des fractures ouvertes et des plans de litage ayant subi de la dissolution (Nastev et al., 2004). Les ouvertures sont isolées par la masse rocheuse relativement imperméable (couche de confinement), et interconnectées par des fractures verticales distantes de plusieurs centaines de mètres à quelques kilomètres. L'écoulement souterrain dans le roc fracturé se fait en conditions libres, semi captives ou captives. La mince couche de sol ainsi que le roc altéré en surface contribuent à maintenir une zone superficiellement saturée dans laquelle l'eau infiltrée s'écoule latéralement pour resurgir dans les petits cours d'eau ou pour s'infiltrer vers l'aquifère à la faveur de fractures ouvertes. Les résurgences sont visibles lorsque les fractures et plans de litage rencontrent la surface topographique, donnant ainsi naissance à plusieurs cours d'eau. Les ruisseaux, et donc les habitats de salamandres, sont ainsi tributaires à la fois du ruissellement de surface, de l'écoulement de sub-surface et du niveau de la zone saturée de l'aquifère. Le mont Covey Hill agit comme une zone de recharge locale d'un aquifère régional qui s'écoule de manière radiale depuis le sommet de la colline et globalement du sud vers le nord (Croteau et al., 2005). Les niveaux d'eau mesurés dans les puits sont fortement influencés par la profondeur de ceux-ci, selon les fractures et plans de litage interceptés. Les moins profonds indiquent un niveau d'eau près de la surface (3-4 m) tandis que dans les plus profonds, l'eau est généralement rencontrée beaucoup plus bas (30-40 m).

Le site du Laboratoire naturel bénéficie de la présence de deux forages appartenant à la CGC permettant le suivi automatisé du niveau de la nappe (Nastev et al., 2004). Ces puits seront légués à CNC et intégrés dans le Laboratoire naturel au cours des prochaines années. Des essais de pompage réalisés sur la colline (par la CGC et par Barrington et al., 1992) ont montré que le roc fracturé est très perméable. Il y a présentement peu de pompage d'eau souterraine sur la colline autre que celui réalisé par les propriétaires pour leurs besoins en eau. Des projets d'exploitation de la nappe en grande quantité (embouteillage et irrigation) ont toutefois vu le jour récemment dans des zones situées au pied de la colline (Dagenais et Nastev, 2005). L'eau souterraine est de

bonne qualité en raison de la position de la colline en amont de l'écoulement et des activités agricoles et résidentielles.

Depuis 2004, la colline bénéficie d'une station météorologique intégrée dans le réseau Mésonet-Montréal (Mésonet, 2005). Selon les données recueillies, la colline reçoit en moyenne 1 025 mm de précipitations, la température annuelle moyenne est de 6°C et varie entre -30°C l'hiver et 30°C l'été. La station de Hemmingford fournit quant à elle les données météorologiques depuis 1965.

Au niveau floristique, le mont Covey Hill est situé dans le domaine bioclimatique de l'érablière à caryer cordiforme (Bouchard et Brisson, 1996). Elle est essentiellement recouverte de forêt et les coupes forestières y ont été peu nombreuses, surtout à son sommet où certains boisés actuels étaient déjà sur place à l'arrivée des premiers colons. Les sites mésiques sont propices au développement d'érablières à tilleul tandis que sur les sites xériques on observe des chênaies, des pinèdes et des prucheraies. Certains peuplements sont uniques dans la vallée du Saint-Laurent. Parmi ceux-ci mentionnons les peuplements matures de pruches et les landes de pins généralement associées aux paysages nordiques (Barrington et al., 1992). Ces dernières se caractérisent par la présence éparse de pin blanc (*Pinus strobus*), de pin rouge (*Pinus rigida*) et de pin gris (*Pinus banksiana*), par un sous bois d'éracacées et une strate muscinale composée essentiellement de lichens. Elles sont surtout présentes au sommet de la colline et se maintiennent par des phénomènes incendiaires récurrents (Meilleur et al., 1994). La flore de la tourbière ombrotrophe située au sommet de la colline est dominée par des communautés arbustives basses à *Chamaedaphne calyculata* et par un couvert dense de sphaignes. La présence de la sphaigne contribue à sa grande capacité de rétention permettant ainsi de réduire les pertes d'eau par ruissellement au printemps et de limiter les effets d'une sécheresse estivale. Barrington et al., (1992) mentionnent aussi la présence de l'Utriculaire à scapes géminés (*Utricularia geminiscapa*), une plante carnivore susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable au Québec. Finalement de nombreux vergers sont présents sur la colline et forment un élément important de l'économie régionale.

La rigueur des sols a jusqu'ici découragé le développement agricole sur la colline. Les pressions anthropiques augmentent néanmoins en raison de la villégiature et des besoins croissants en eau. La conservation des habitats de certaines espèces de salamandres (dont la salamandre sombre des montagnes) nécessite de protéger des terrains adjacents sur lesquels les salamandres peuvent se déplacer entre plusieurs sources aux régimes hydriques variés (Bonin, 1993). Plusieurs initiatives de conservation, essentiellement par CNC, ont été mises en œuvre.

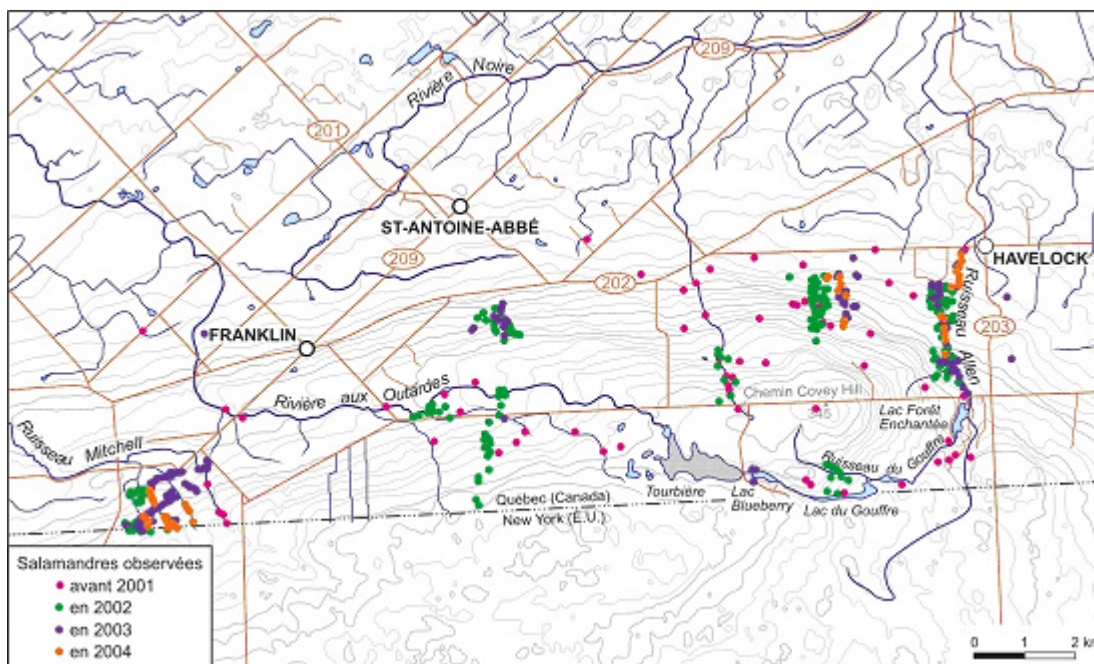


Figure 2. Sites où des salamandres ont été trouvées (avant 2001, en 2002, 2003 et 2004)

Par exemple, afin de protéger la moitié de la tourbière, 124 ha de terrains ont été acquis par CNC et des ententes ont été signées avec 11 propriétaires permettant l'accès à leur terrain pour des travaux de recherche. Une région de 216 ha, nommée « The Gulf Unique Area », est aussi préservée du côté américain par l'État de New York (Figure 1).

La conservation du territoire passe aussi par la sensibilisation des résidents. Des interventions ont été réalisées dans les médias afin de conscientiser la population à l'importance de protéger les habitats de salamandres de la colline (ex. : Chester, 2003; Rochon, 2003). Une initiative pour impliquer les résidents dans le suivi hydrologique est présentement menée par la SCABRIC qui a aussi réalisé et distribué un dépliant de sensibilisation sur l'importance de la conservation de l'eau et la fragilité des habitats de salamandres (SCABRIC, 2004).

Par sa situation géographique, son contexte géologique et hydrologique et par les espèces animales et végétales présentes, le mont Covey Hill se prête à l'étude de plusieurs problématiques complémentaires. L'identification des populations de salamandres, la caractérisation de leurs habitats à l'échelle locale, la dynamique hydrique de la colline, l'écologie végétale de la tourbière et le suivi des impacts des changements climatiques sur les conditions hydrologiques, les habitats des salamandres et les populations végétales sont quelques uns des thèmes abordés au Laboratoire naturel du mont Covey Hill.

Les salamandres et leurs habitats

Toutes les espèces de salamandres présentes au Québec ont été observées sur le mont Covey Hill. Les plus abondantes sont : la salamandre sombre des montagnes, la salamandre pourpre, la salamandre à deux lignes (*Eurycea bislineata*), la salamandre sombre du nord (*Desmognathus fuscus*), la salamandre cendrée (*Plethodon cinereus*) et la salamandre à quatre doigts (*Hemidactylium scutatum*). Un hybride entre les salamandres sombre des montagnes et sombre du nord y est également fréquent. Bonin (1993) a été le premier à identifier la salamandre sombre des montagnes sur le mont Covey Hill, alors le seul endroit au Canada où l'espèce avait été observée. Depuis, une petite population de cette espèce a été identifiée au pied des chutes Niagara. Au Québec, la salamandre sombre des montagnes est une espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable tandis qu'au Canada elle possède le statut d'espèce menacée depuis 2001 (Alvo et Bonin, 2003; COSEPAC, 2006). Ce statut indique qu'elle est susceptible d'être en danger d'extinction si les facteurs limitant son expansion ne sont pas renversés. Parmi les autres espèces présentes, la salamandre pourpre a été désignée comme étant une espèce préoccupante au Canada, c'est-à-dire qu'elle est particulièrement sensible aux activités humaines ou à certains phénomènes naturels (COSEPAC, 2006). La salamandre pourpre, la salamandre sombre du nord et la salamandre à quatre doigts sont également des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables au Québec. Mis à part la salamandre à quatre doigts présente dans la tourbière (Bonin 1999), les autres espèces sont inféodées aux cours d'eau de la colline. Elles sont sensibles aux modifications de l'équilibre hydrologique de leur habitat pouvant résulter d'un déboisement ou d'un pompage excessif de la nappe

(Jutras, 2003). Les menaces auxquelles les salamandres font face ne sont toutefois pas toutes directement perceptibles et la pollution ou les changements climatiques pourraient aussi modifier leurs habitats, rendant impossible leur reproduction (Griffiths et Beebe, 1992).

inventaires des populations de salamandres ont été réalisés en collaboration avec le MRNF. Tous les inventaires ont eu lieu sur des terrains privés. Au cours de l'été 2002, 10 propriétés boisées ont été visitées de manière à recenser des milieux humides représentatifs de la colline du côté québécois entre la base, le flanc et sommet de la colline. Les cours d'eau permanents et intermittents, les dépressions humides et les résurgences ont été identifiés. La recherche des salamandres s'est effectuée par ratissage en ligne droite avec une distance moyenne de 20 m entre chaque membre de l'équipe. En 2003, le protocole consistait à remonter certains cours d'eau et leurs ramifications jusqu'à ce que l'eau cesse de couler en continu (Boutin, 2003). Les cours d'eau visités sont deux affluents du ruisseau Mitchell dans le secteur ouest (29 sites), le ruisseau Allen dans le secteur est (19 sites) et deux cours d'eau non cartographiés (15 sites) sur le flanc nord de la colline. Les cours d'eau de plus de 1 m de largeur ont été inventoriés par parcelles de 25 m de longueur, situées à tous les 100 m le long du cours d'eau. Les cours d'eau de largeur inférieure à 1 m ont été inventoriés de façon continue avec un pas d'échantillonnage de 25 m. Les inventaires de 2004 ont utilisé un protocole similaire à celui de 2003, et ont été réalisés dans les mêmes secteurs et les mêmes cours d'eau. Dans tous les cas, l'habitat a été décrit à chaque station et les espèces de salamandres présentes ont été identifiées (le type de cours d'eau n'a pas été identifié en 2003). Les campagnes de 2003 et de 2004 ont permis de caractériser l'habitat de la communauté de salamandres du mont Covey Hill et d'évaluer la niche écologique des hybrides dans le cadre d'un projet de maîtrise réalisé à l'Université de Montréal (Boutin, 2006).

Les résultats montrent que les différentes espèces de salamandres sont présentes sur l'ensemble de la colline. En 2002, 188 salamandres ont été identifiées alors que les campagnes de 2003 et de 2004, plus intensives, ont permis d'identifier respectivement 1 246 et 1 889 salamandres (Figure 3; Bilodeau, 2002; Boutin, 2003; Rutherford et al., 2004). En 2002, la salamandre sombre du nord et la salamandre cendrée ont été les plus fréquemment rencontrées. En 2003 et 2004, la salamandre sombre du nord et la salamandre à deux lignes ont été les plus nombreuses tandis que la salamandre cendrée a été moins fréquente qu'en 2002. Ceci s'explique sans doute par le fait que 2002 est la seule année où les dépressions humides, apparemment recherchées par la salamandre cendrée, ont été recensées. Les salamandres sombres des montagnes et pourpres ont été identifiées au cours des trois années, mais en nombres significativement moins importants que la salamandre sombre du nord et de la salamandre à deux lignes. La variabilité interannuelle des populations de salamandres s'explique en partie par des méthodes d'échantillonnage différentes, mais aussi par les caractéristiques des habitats qui évoluent selon des périodes plus ou moins sèches et qui pourraient favoriser temporairement une espèce.

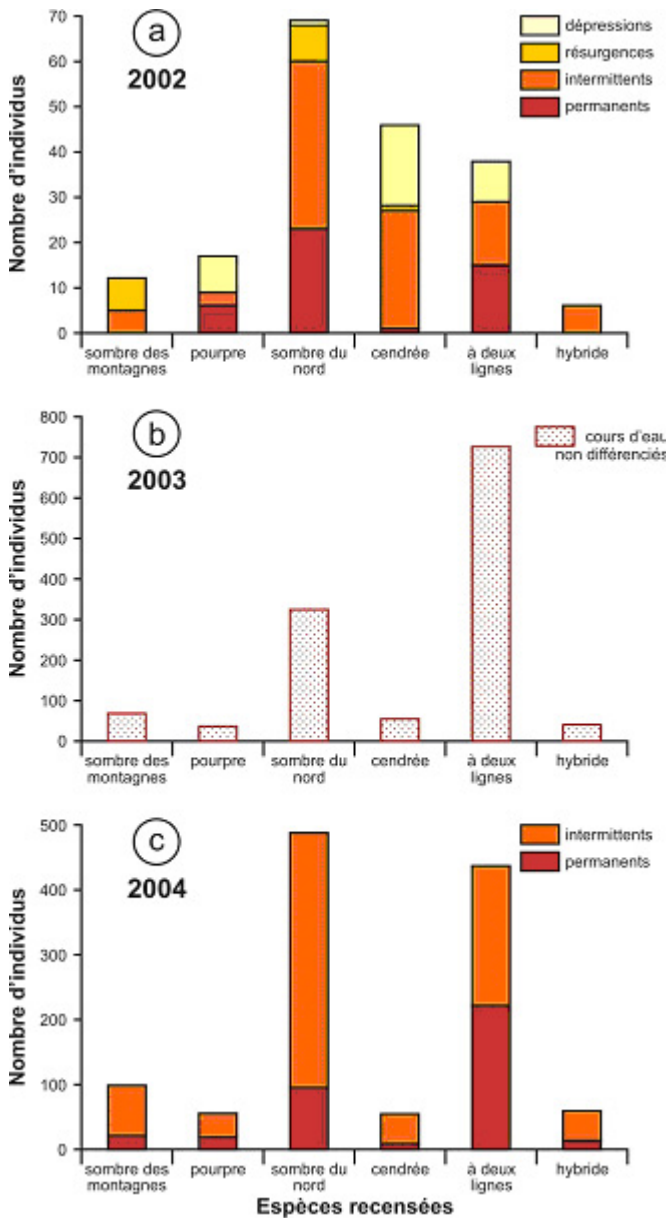


Figure 3. Salamandres recensées sur le terrain selon le type de cours d'eau : a) 2002 et b) 2003 et c) 2004 (Bilodeau, 2002; Boutin, 2003; Rutherford et al., 2004)

Avant 2001, un certain nombre d'habitats isolés de salamandres sombre des montagnes et de salamandres pourpres avaient été identifiées sur la colline (Figure 2). Depuis, d'importants

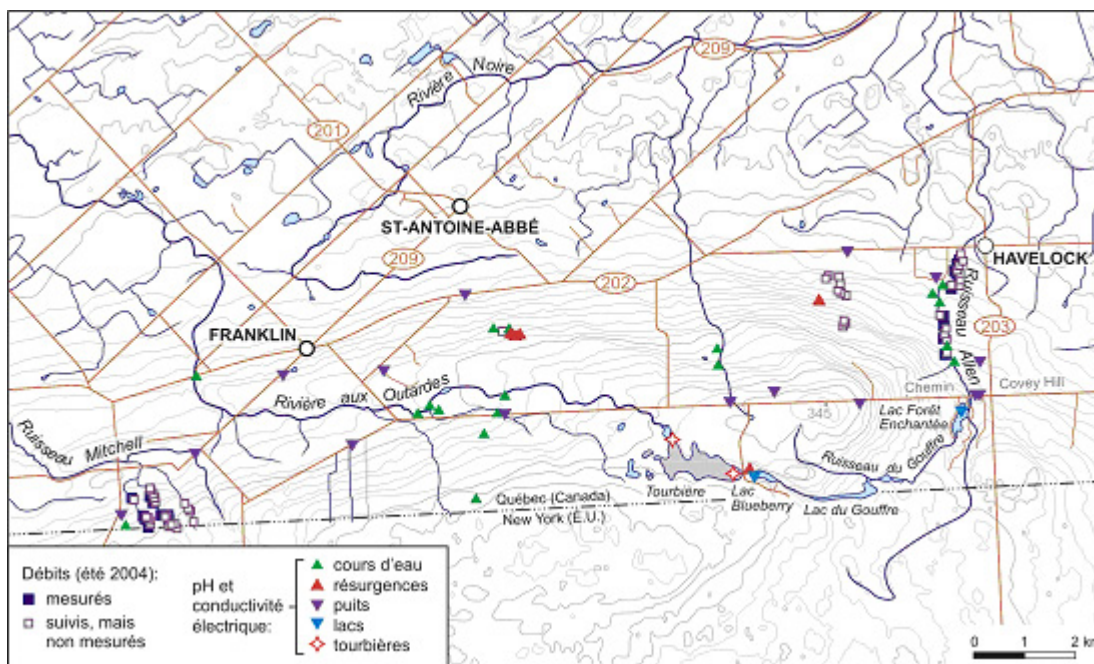


Figure 4. Localisation des sites de mesures hydrologiques.

En 2002 et 2004, les six espèces identifiées ont été retrouvées dans les cours d'eau intermittents. En 2004, la salamandre sombre des montagnes était présente aussi dans les cours d'eau permanents, mais sur des sites de faibles débits. Plus terrestre que la salamandre du nord, la salamandre sombre des montagnes peut s'éloigner jusqu'à 75 m des cours d'eau dans la forêt lors des périodes humides. La Salamandre cendrée est considérée comme une espèce terrestre (Grover et Wilbur, 2002; Desroches et Rodrigue, 2004), mais elle est observée le plus souvent non loin des cours d'eau, jusqu'à 2 m de la rive. La salamandre pourpre a été trouvée nageant dans le cours d'eau, sous les roches submergées ou à proximité de la rive. Cette salamandre a besoin d'un cours d'eau permanent pour ses différents stades de vie : les larves requièrent une eau bien oxygénée pour la croissance et leur développement tandis que les adultes ont une faible tolérance à la déshydratation (Bonin, 1999). Dans l'ensemble, les résultats des recensements soulignent l'importance des cours d'eau intermittents et de faibles débits en tant qu'habitat pour les salamandres. Ces cours d'eau sont les plus sensibles aux conditions climatiques et aux variations de l'écoulement de sub-surface et de la zone saturée de l'aquifère.

Hydrologie et hydrogéologie

Suivis débitométriques

Au cours de l'été 2004, une étude des débits des cours d'eau permanents et intermittents des habitats de salamandres connus sur la colline a été réalisée (Rutherford et al., 2004), à dans le but de quantifier le régime hydrologique des habitats des salamandres (Boutin, 2006). Soixante-trois parcelles (25 m le

long des cours d'eau) ont été suivies au cours de quatre visites réalisées de juin à septembre 2004 (voir localisation des parcelles à la Figure 4). Les sites étudiés sont parmi ceux où des salamandres avaient été observées en 2003 et correspondent exactement aux stations de l'inventaire de salamandres de l'été 2004 (affluents du ruisseau Mitchell à l'ouest, ruisseau Allen à l'est, et ruisseaux non cartographiés sur le flanc nord de la colline). Les débits ont été calculés en mesurant la profondeur du cours d'eau à intervalles réguliers et en déduisant la vitesse de l'eau au centre de chaque intervalle par la mesure du temps de parcours d'un flotteur dans une section de 1 m (Saunders, 1998). Cette technique est utile lorsque les débits sont trop faibles pour être mesurés à l'aide d'un vélocimètre. Les cours d'eau visités étaient soit permanents (présence d'écoulement au cours des quatre visites) ou intermittents (absence d'écoulement pendant une ou plusieurs visites). Lorsque le débit était trop faible et qu'aucune section de 25 m n'a pu être identifiée, des données qualitatives sur la largeur du cours d'eau, le pourcentage couvert par l'eau ainsi que la continuité de l'écoulement ont été recueillies pour qualifier les habitats de salamandres (Boutin, 2006).

La majorité des sites ont été classés intermittents, soit 45 sur les 63 visités. Dans les cours d'eau du flanc nord de la colline, les débits ont été très faibles et seules des données qualitatives ont pu être relevées au cours de la période de suivi (non présentées ici, c.f. Boutin, 2006). Des données qualitatives ont aussi été prises dans les secteurs du ruisseau Allen (à l'est) et des affluents du ruisseau Mitchell (à l'ouest) lorsque les débits n'étaient pas mesurables. Au cours de l'été 2004, les débits mesurés dans les affluents du ruisseau Mitchell étaient en moyenne plus faibles

que ceux mesurés dans le secteur du ruisseau Allen, notamment en juillet et août, période pendant laquelle ils sont aussi nettement moins variables (Figure 5). Ces différences s'expliquent en partie par l'aire d'alimentation de ces stations qui est beaucoup plus faible que celle des stations sur le ruisseau Allen. Un apport soutenu au ruisseau Allen à la fois par le réseau hydrographique de la colline (zones humides, lacs et cours d'eau) et par les résurgences d'eau souterraine de l'aquifère au roc expliquerait aussi en partie les débits plus élevés qui y ont été mesurés. Les cours d'eau dans le secteur du ruisseau Mitchell sont sans affluent important et ne sont probablement soutenus en période estivale que par un faible apport d'eau de l'écoulement de sub-surface. Les sites suivis sur le flanc nord de la colline ont des débits non mesurables car ils sont situés près de la source du cours d'eau. Leur position sur la pente la plus abrupte de la colline les rend aussi plus vulnérables à l'assèchement suite à une période de tarissement de l'écoulement de sub-surface ou à un abaissement significatif de la zone saturée de l'aquifère. Dans les deux secteurs où les débits ont pu être mesurés, les portions de cours d'eau avec et sans écoulement se succèdent pendant toute la période étudiée, reflétant la discontinuité de l'écoulement souterrain localisé dans les fractures et plans de litage.

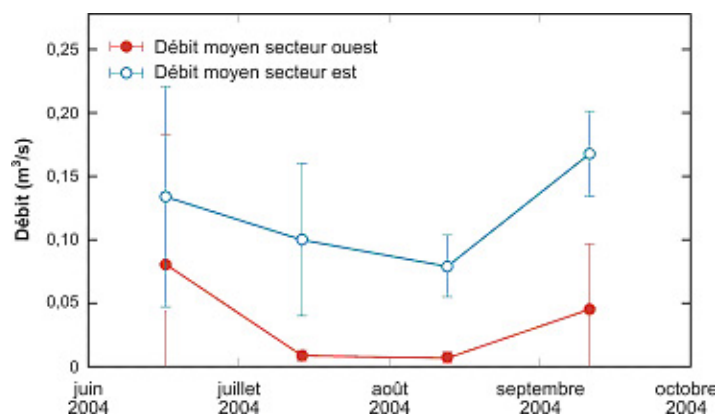


Figure 5. Débits mesurés au cours de l'été 2004 (Rutheford et al., 2004).

La mise en place d'un réseau de suivi hydrologique permanent est essentielle pour comprendre les liens entre les précipitations, la tourbière, la nappe et les cours d'eau servant d'habitats aux salamandres. Au cours de l'été 2005, ce réseau a été initié avec la mise en place de huit sondes limnimétriques (*TruTrack WT-HR 1500*) permettant le suivi automatisé du niveau et de la température de l'eau dans les cours d'eau (Leroux et al., 2005).

pH et conductivité électrique de l'eau

Au cours de l'été 2002, un échantillonnage d'eau provenant des habitats de salamandres, des cours d'eau et de la nappe a été mené dans le but de caractériser les différents types d'eau sur la colline (Bilodeau, 2002). Réalisé principalement au mois d'août 2002, l'échantillonnage a permis de mesurer le pH et la

conductivité électrique de l'eau à l'aide de sondes portatives. Quarante-quatre stations furent visitées : deux lacs, cinq résurgences, deux rivières, 15 puits (11 profonds et quatre de surface) et 20 cours d'eau (des salamandres avaient été identifiées à plusieurs de ces stations quelques semaines auparavant). En septembre 2005, des échantillons d'eau ont été prélevés aux deux exutoires de la tourbière. L'eau a été prélevée directement dans les cours d'eau, les résurgences ou les lacs en y plongeant un contenant. Certaines sources ou cours d'eau ayant un très faible débit ont été échantillonnées à l'aide d'une seringue. L'eau des puits a été prélevée à même un robinet, en amont de tout système de traitement de l'eau.

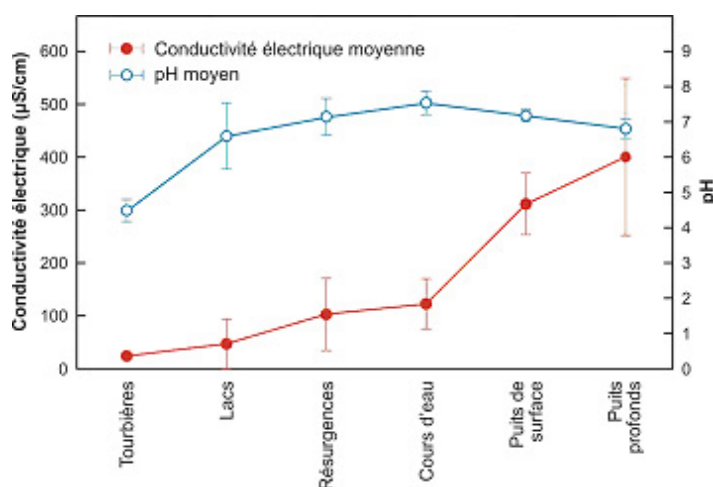


Figure 6. Conductivité électrique et pH de l'eau sur le mont Covey Hill.

Les résultats de pH et conductivité électrique permettent de confirmer le cheminement général de l'eau le long du réseau hydrographique (Figure 6). Le pH est le plus faible à la sortie de la tourbière, sous l'influence d'une végétation dominée par les sphaignes. Il augmente dans les lacs où il est aussi le plus variable. Cette variabilité s'explique par la position du lac sur le réseau hydrographique. Ainsi, le pH bas observé dans le lac Blueberry est sous l'influence de la tourbière qui l'alimente. Il augmente ensuite dans le lac du Gouffre et dans celui de la Forêt Enchantée. Le pH atteint des valeurs proches de la neutralité dans les résurgences, les cours d'eau et la nappe. Ces observations sont en accord avec les résultats de Barrington et al., (1992). La conductivité électrique est très faible dans la tourbière, tel qu'il est courant de l'observer en présence de pH bas. L'eau des deux lacs est relativement peu minéralisée, mais la conductivité électrique est plus grande dans le lac Forêt Enchantée que dans le lac Blueberry (exutoire de la tourbière). La conductivité électrique moyenne reste relativement faible dans les résurgences, ce qui reflète le fait que cette eau n'a pas séjourné longtemps sous terre. La minéralisation de l'eau des cours d'eau est similaire à celle des résurgences. Les cours d'eau les plus en

aval sur le réseau hydrographique (rivière aux Outardes et ruisseau Allen) ont les conductivités électriques les plus élevées. La conductivité électrique de l'eau souterraine est nettement plus élevée dans les puits qu'aux autres stations. Celle des puits de surface est généralement plus faible que celle des puits profonds, ce qui reflète un temps de séjour souterrain plus court dans les puits de surface. Dans les puits profonds, l'écart-type des conductivités électriques est important, sans doute en raison d'une importante variabilité spatiale du cheminement de l'eau par les fractures et les plans de litage.

Travaux en cours

Rôles hydrologique et écologique de la tourbière

Bien que très bénéfique pour la conservation du milieu, l'acquisition de la tourbière par CNC ne garantit pas la totale préservation de son intégrité hydrologique et écologique, car ce milieu est très sensible aux perturbations externes (Pellerin et Lavoie, 2003). Une modification de l'équilibre hydrique et écologique actuel pourrait à son tour réduire la quantité d'eau emmagasinée et ainsi déstabiliser la dynamique de l'ensemble de la colline. Plusieurs activités humaines, telles que le déboisement, le développement domiciliaire et récréatif, la surexploitation de l'eau souterraine sur la colline et à proximité, ou le réchauffement climatique actuel pourraient induire un tel déséquilibre.

Dans ce contexte, un projet de recherche visant à instrumenter la tourbière pour un suivi hydrologique et écologique à long terme au sein du Laboratoire naturel du mont Covey Hill a été entrepris en 2006. L'instrumentation mise en place est composée de six grappes piézomètres dans la tourbe (profondeurs 0,5 m et entre 0,9 et 1,5 m de profondeur; PVC 2,5 cm de diamètre; crépines sur 20 cm). Ces piézomètres sont instrumentés de sondes automatisées (*INW PT2X*) pour le suivi continu du niveau de la nappe et de la température de l'eau. Ces instruments permettront l'étude du fonctionnement actuel et le suivi à long terme des fonctions hydrologiques et écologiques de la tourbière. On cherchera tout particulièrement à quantifier les échanges hydriques entre la tourbière et le reste de la colline, à établir un bilan hydrique de la tourbière et à identifier les composantes hydrologiques les plus sensibles aux perturbations ainsi que les facteurs les plus importants pour la conservation du milieu. Une maîtrise (UQAM) est présentement en cours sur ce volet. Le projet de recherche vise aussi à identifier les communautés végétales présentes dans la tourbière et à déterminer comment celles-ci ont évolué au cours des dernières décennies en relation avec les activités humaines avoisinantes. On cherchera à identifier les liens entre la répartition spatiale des communautés végétales, les paramètres hydrologiques et les conditions physico-chimiques du site. Grâce à la récolte de plusieurs carottes de tourbe réparties sur l'ensemble du site il sera possible de reconstituer l'histoire holocène de la végétation de la tourbière et de la colline (datation AMS et ^{14}C) et de retracer les variations des niveaux d'eau dans la tourbière (analyse des

Thécamoebiens). Ces données ainsi que celles obtenues par la caractérisation tridimensionnelle du dépôt tourbeux au cours de l'été 2006 (Lagneau, 2006) permettront de cartographier la mise en place de la tourbière. Un projet de maîtrise (IRBV) débutera sur ce sujet à l'été 2007.

Dynamique hydrologique des habitats de salamandres

Les travaux réalisés jusqu'ici sur les habitats de salamandres ont souligné l'importance de mener des inventaires interannuels de salamandres, de pair avec un suivi hydrologique continu des cours d'eau. Ceci doit être réalisé pour confirmer la dynamique à long terme des populations de salamandres en lien avec la dynamique hydrologique de leurs habitats.

Au cours de l'été 2006, sept forages de particuliers ont été équipés de sondes automatisées (*INW PT2X* et *Solinst*) pour le suivi continu du niveau de la nappe et de la température de l'eau. Deux sondes limnimétriques supplémentaires (*TruTrack WT-HR 1500*) ont été installées sur des cours d'eau de la colline. Deux piézomètres (profondeurs 3,7 et 15,5 m; PVT 2,5 cm de diamètre, crépines sur 1,5 m) ont été forés dans le roc à proximité de la tourbière. Ils sont instrumentés pour le suivi du niveau et de la température de l'eau (sondes *INW PT2X*). Un pluviomètre à auget basculant (*Onset RG2M*) a également été installé. Ces appareils s'ajoutent aux instruments déjà en place dans le Laboratoire naturel du mont Covey Hill pour assurer un suivi continu des conditions hydrologiques à long terme. Les séries temporelles (précipitations, débits des cours d'eau et niveaux de nappe) seront utilisées pour identifier les liens entrées-sorties, les temps de transfert de l'eau et toutes autres modifications du signal hydraulique induites par le passage de l'eau dans le milieu (Larocque et al., 1998). En parallèle, des prélèvements d'eau répétés ont été réalisés aux forages instrumentés, aux stations débitométriques ainsi qu'aux piézomètres dans le roc et dans la tourbière de mai à novembre 2006 afin de suivre l'évolution temporelle de la composition géochimique de l'eau des précipitations, de la tourbière, des puits et des cours d'eau servant d'habitats aux salamandres. Le pH, la conductivité électrique et la composition isotopique de l'eau (^{18}O et ^2D) seront notamment utilisés pour vérifier la parenté entre différents types d'eau. L'ensemble des résultats devrait permettre de distinguer les apports d'eau du ruissellement et ceux provenant de l'aquifère. Un protocole de suivi à long terme de la dynamique des populations de salamandres et des composantes locales de leurs habitats est présentement élaboré avec l'équipe de rétablissement et CNC. Un suivi systématique des populations devrait être mis en place à partir de l'été 2007.

Conclusion

Le mont Covey Hill est un site unique pour l'étude et la conservation des écosystèmes. Situé tout près de la métropole, cet endroit bénéficie d'un accès privilégié toute l'année, ainsi que de la proximité de trois grandes universités montréalaises. Les efforts investis depuis 15 ans pour accroître la compréhension du

milieu ont contribué à mettre en place des échanges constructifs entre le milieu de la conservation, celui de la recherche et la population locale. Cette synergie a poussé la réalisation au fil des années d'un ensemble de projets de recherche, ayant à leur tour mené à la mise en place d'une instrumentation permanente. L'ensemble de l'instrumentation forme la base physique du Laboratoire naturel qui facilitera l'étude à long terme des conditions hydrologiques et écologiques sur le mont Covey Hill. Ce suivi permettra d'identifier les chemins empruntés par l'eau sur et dans la colline, une information primordiale pour permettre la mise en place d'actions de conservation efficaces et une utilisation judicieuse du territoire et de la ressource hydrique. La présence du Laboratoire ouvre la voie à l'étude des écosystèmes dans un contexte de changements climatiques puisque seules plusieurs années de données peuvent assurer l'identification de tendances. Le Laboratoire naturel servira à la fois à la recherche et à la formation multidisciplinaire puisque des étudiants de différents horizons pourront y étudier les problématiques qui les intéressent (biologie animale et végétale, géologie, hydrologie, hydrogéologie, urbanisme, agriculture, etc.). La connaissance et la sensibilisation qui en découleront contribueront à la protection et à la conservation d'un écosystème exceptionnel.

Remerciements

Les auteurs désirent remercier Shell Canada, le World Wildlife Fund, la Fondation de la Faune du Québec, la Salamander Foundation, le Wainright Fund, la Fondation EJLB, Ressources Humaines Canada, Environnement Canada, le FQRNT et le CRSNG pour leur support financier et logistique. Les auteurs désirent aussi remercier le MRNF (suivi salamandres), le MDDEP (prêt d'équipement), M.C. Pharand, K. Richard et M. Archambault, H. Asnong, A.M. Girard-Cloutier et M. Lavoie pour leur contribution au travail de terrain et M. Laithier pour la réalisation de cartes et de figures. Les auteurs désirent aussi souligner l'importante participation des propriétaires qui, au fil des années, ont largement contribué à la mise en place du Laboratoire naturel de Covey Hill. Merci aussi aux autres membres du comité de direction du projet Aquifère des Adirondacks : M. Frénette (CNC), M. Léveillé (MRNF); D. Franzy, T. Milhuc et E. Romanowicz (SUNY Plattsburgh); C. Maron (The Nature Conservancy – Adirondacks Chapter); C. Lamontagne et S. Primeau (MDDEP); M. Nastev (CGC); A. Rousseau (INRS-ETE); M. Stapinsky (SNC-Lavalin); L. Vescovi (Ouranos); P. Brown et M. Cantin Cumyn (U. McGill); P. Sinclair (D.C.L. Lapointe-Rosenstein) ainsi qu'à F. Blackburn et aux autres membres de la SCABRIC.

Biographie

Marie Larocque est chercheuse au Centre ESCER et professeure au Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère de l'UQAM. Elle s'intéresse à l'hydrogéologie régionale et notamment aux interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface.

Bibliographie

- Alvo, R. et J. Bonin, 2003, Rapport sur la situation de la salamandre sombre des montagnes (*Desmognathus ochropheus*) au Québec. Société de la faune et des parcs du Québec. 32 p.
- Barrington, S., H. Philion et J. Bonin, 1992, An evaluation of the water reserve potentials: the ecological region of the Covey Hill « Gulf ». Rapport du département de génie agricole, Faculté d'agriculture et de sciences environnementales, Université McGill, campus MacDonald. 53 p.
- Bilodeau, I., 2004, Caractérisation des sols sur la colline de Covey. Rapport interne. Centre Brace pour les ressources en eau. Université McGill, campus MacDonald. 22 p.
- Bilodeau, I., 2002, Caractérisation géochimique et cartographie de l'eau souterraine et des ruisseaux sur la colline de Covey Hill (Montréal, Québec). Rapport d'activité de synthèse. Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, UQAM. 39 p.
- Blanchette, D., R. Lefebvre, M. Nastev, C. Lamontagne, A. Croteau, M.A. Lavigne, N. Roy et V. Cloutier, 2005, Hydrochemical assessment of groundwater in the Châteauguay river watershed, Québec. 6^{ième} conférence conjointe AIH-CNC/CGS, octobre 2005, Saskatoon, Saskatchewan. 8 p.
- Bonin, J., 1999, Status report on the Four-toed Salamander *Hemidactylum scutatum* in Canada. Report submitted to the Committee on the status of endangered wildlife in Canada. 20 p.
- Bonin, J., 1993, Protection des salamandres du piedmont des Adirondacks. Rapport présenté à la Société canadienne pour la conservation de la nature. 11 p.
- Bouchard, A. et J. Brisson, 1996, Domaine de l'érablière à Caryer cordiforme. In Manuel de foresterie. Ordre des ingénieurs forestiers et Presses de l'Université Laval, pp. 160-170.
- Boutin, A., 2006, Caractérisation de l'habitat d'une communauté de salamandres de ruisseaux comportant des hybrides. Mémoire de maîtrise, Département de sciences biologiques, Université de Montréal. 107 p.
- Boutin, A., 2003, Rapport préliminaire à l'élaboration d'un projet de maîtrise sur la caractérisation de l'habitat et la génétique des populations de la salamandre sombre des montagnes (*Desmognathus ochropheus*) et des espèces apparentées au genre *Desmognathus*. Rapport présenté à l'équipe de rétablissement de salamandres. 26 p.
- Chester, B., 2003, Saving Salamanders. McGill Reporter, vol. 35 no. 9. <http://www.mcgill.ca/reporter/35/09/>. [consultée janvier 2006].
- COSEPAC, 2006, Page web disponible à http://www.cosewic.gc.ca/fra/sct0/Assessment_process_tbl6_f.cfm. [consultée janvier 2006].
- Côté, S.D., C. Dussault, J. Huot, F. Potvin, J.-P. Tremblay, V. Viera, 2006a, High herbivore density and boreal forest ecology: introduced white-tailed deer on Anticosti Island. In Gaston A.J., Golumbia T.E., Martin J.L. and Sharpe S.T. (eds.). Lessons from the islands: introduced species and what they tell us about how ecosystems work. Compte-rendu de la conférence Research Group on Introduced Species 2002 Conference, Queen Charlotte, Colombie-Britannique. Canadian Wildlife Service Occasional Papers. Sous presse.
- Côté, M.J., Y. Lachance, C. Lamontagne, M. Nastev, R. Plamondon et N. Roy, 2006b, Atlas du bassin versant de la rivière Châteauguay. Collaboration étroite avec la Commission géologique du Canada et l'Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement. Québec : ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. 64 p.
- Croteau, A., M. Nastev, R. Lefebvre, L. Lamontagne, C. Lamontagne, M.A. Lavigne et D. Blanchette, 2005, Estimation of spatial and temporal distribution of recharge to the Anglais river aquifer system, Québec. 6^{ième} conférence conjointe AIH-CNC/CGS, octobre 2005, Saskatoon, Saskatchewan. 8 p.
- Dagenais, M.P. et M. Nastev, 2005, A case study of a conflict over groundwater – When hydrogeology is not sufficient. 6^{ième} conférence conjointe AIH-CNC/CGS, octobre 2005, Saskatoon, Saskatchewan. 8 p.
- Desroches, J.F. et D. Rodrigue, 2004, Amphibiens et reptiles du Québec et des maritimes. Éditions Michel Quintin, Waterloo. 288 p.

- ESFL (Ecosystems Studies Field Laboratory), 2006, Page web disponible à <http://faculty.plattsburgh.edu/david.franzi/esfl/esflhome.htm>. [consultée janvier 2006].
- FERLD (Forêt d'Enseignement et de Recherche du Lac Duparquet). 2006. <http://web2.uqat.quebec.ca/ferld/missionF.htm>. [consulté janvier 2006].
- Franzi, D., J.A. Rayburn, C.H. Yansa et P.L.K. Knuepfer, 2002, Late glacial water bodies in the Champlain and Hudson lowlands, New York. Livret guide pour le New York State Geological Association/New England Intercollegiate Geological Conference Joint Annual Meeting, pp. A5 1-23.
- Globensky, Y, 1986, Géologie de la région de Saint-Chrysostome et de Lachine (sud). Ministère de l'énergie et des ressources. 167 p.
- Griffiths, R. et T. Beebe, 1992, Decline and fall of the amphibians. *New Scientist* 134(1827): 25-29.
- Grover, M.C. et H.M. Wilbur, 2002, Ecology of ecotones: Interactions between salamanders on a complex environmental gradient. *Ecology* 83: 2112-2123.
- Jutras, J, 2003, Plan d'intervention sur les salamandres de ruisseaux du Québec. Direction du développement de la faune, Société de la faune et des parcs du Québec, Québec. 26 p.
- Lagneau, L.A., 2006, Caractérisation environnementale de la tourbière de la colline de Covey. Approches écologique et géophysique. Rapport de stage, Université Catholique de l'Ouest et Institut de recherche en biologie végétale. 40 p.
- Larocque, M., A. Mangin, M. Razack et O. Banton, 1998, Contribution of correlation and spectral analysis to the regional study of a large karst aquifer. *J. Hydrol.*, 205 : 217-231.
- Leroux, G., C. Madramootoo et J. Bonin, 2005, Mountain Dusky- and Spring Salamanders of southern Quebec : investigation of the habitat's hydrologic regime. Rapport final présenté au World Wildlife Fund – Fonds pour le Rétablissement des Espèces en Péril. 24 p.
- Meilleur, A., A. Bouchard et Y. Bergeron, 1994, The relation between geomorphology and forest community types of the Haut-Saint-Laurent. Quebec. *Vegetatio*, 111 : 173-192.
- Mésonet –Montréal, 2005, Page web disponible à <http://www.mesonet-montreal.ca/>. [consultée janvier 2006].
- Nastev, M., C. Lamontagne, T. Tremblay, D. Lavoie, F. Hardy, M. Lamothe, A. Croteau, D. Blanchette, M.A. Lavigne, N. Roy, D. Paradis, N. Benoit, R. Lefebvre, D. Marcotte, R. Gaudin et A. Rouleau, 2004, Hydrogeological overview of the transboundary aquifers in the Châteauguay River Basin, Canada-United States. 5^{ème} conférence conjointe AIH-CNC/CGS, octobre 2004, Québec, Québec. 7 p.
- Pellerin, S. et C. Lavoie, 2003, Reconstructing the recent dynamics of mires using a multi-technique approach. *J. Ecology*, 97: 1008-1021.
- Rayburn, J.A., P.L.K. Knuepfer et D.A. Franzi, 2005, A series of large, Late Wisconsinian meltwater floods through the Champlain and Hudson valleys, New York State, USA. *Quaternary Science Reviews*, 24(22) : 2410-2419.
- Rochon, M, 2003, L'eau, la salamandre et la roche. Société Radio-Canada, émission Découverte, 5 oct. 2003.
- Rutherford, A., Leroux, G., Senecal, C., Boutin, A. et C. Madramootoo, 2004, Using quantitative methods to gather small stream flow data for habitat characterization. Rapport interne. Centre Brace pour les ressources en eau, Université McGill, campus MacDonald. 17 p.
- Saunders, L., 1998, A manual of field hydrogeology. Prentice Hall, New Jersey, USA. 381 p.
- SBL (Station de Biologie des Laurentides), 2006, Page web disponible à www.bio.umontreal.ca/SBL/hist.html. [consultée janvier 2006].
- SCABRIC, 2004, Groundwater recharge and catchment area for the Châteauguay River watershed. Plaquette d'information réalisée par la SCABRIC, format légal, deux côtés.
- Senecal, C., 2004, Protecting the hydrologic regime of salamander habitat. Affiche présentée à la conférence annuelle du CWRA, 17 juin 2004, Montréal, Québec.
- Senecal, C., 2003, Protection des habitats aquatiques dans le piedmont des Adirondacks. Conférence présentée dans le cadre du Symposium Ouranos « Évolution du cycle hydrologique et impacts sur les usages de l'eau dans le bassin de la rivière Châteauguay ». 23 mai 2003, Châteauguay, Québec.
- Tremblay, T., 2006, Géologie du Quaternaire et cartographie 3D dans le bassin versant de la rivière Châteauguay, Québec. Mémoire de maîtrise, Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, UQAM. En correction.